



①⑨ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 34 033 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:
H 05 G 2/00
H 05 H 1/48
H 01 J 15/02
G 03 F 7/20

②① Aktenzeichen: 101 34 033.8
②② Anmeldetag: 12. 7. 2001
④③ Offenlegungstag: 17. 10. 2002

DE 101 34 033 A 1

⑥⑥ Innere Priorität:
101 17 378. 4 06. 04. 2001

⑦① Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE;
Philips Corporate Intellectual Property GmbH,
22335 Hamburg, DE

⑦④ Vertreter:
Patentanwälte Dr. Sturies Eichler Füssel, 42289
Wuppertal

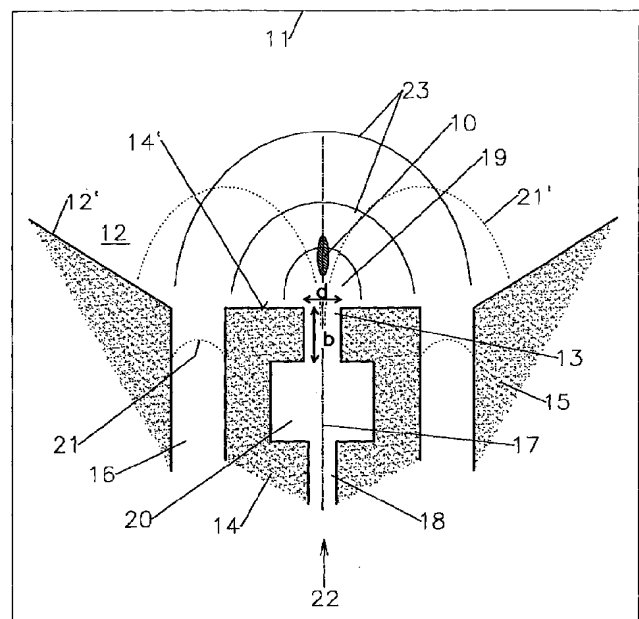
⑦② Erfinder:
Neff, Willi, Dr., Kelmis, BE; Bergmann, Klaus, Dr.,
52134 Herzogenrath, DE; Pankert, Joseph, Dr.,
52074 Aachen, DE; Rosier, Oliver, Dipl.-Phys., 41363
Jüchen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zum Erzeugen von Extrem-Ultraviolettstrahlung/weicher Röntgenstrahlung

⑤⑦ Verfahren zum Erzeugen von Extrem-Ultraviolettstrahlung/weicher Röntgenstrahlung, mittels einer Gasentladung, insbesondere für die EUV-Lithographie, bei dem in einem Entladungsgefäß (11) zwei Elektroden an Hochspannung gelegt werden, zwischen denen in einem Bereich zweier gleichachsiger Elektrodenausnehmungen (12, 13) eine Gasfüllung mit vorbestimmtem Gasdruck entsprechend eines auf dem linken Zweig der Paschen-Kurve erfolgenden Entladungsbetriebs bereitgestellt wird, in der ein die Strahlung abgebendes Plasma (10) unter Energiezufuhr ausgebildet wird, dadurch gekennzeichnet, daß das Plasma (10) im Bereich der Elektrodenausnehmungen (12, 13) mittels einer Druckänderung der Gasfüllung verlagert wird.



DE 101 34 033 A 1

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Erzeugen von Extrem-Ultraviolettstrahlung/weicher Röntgenstrahlung mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

[0002] Bevorzugte Anwendungsgebiete für die Extrem-Ultraviolette (EUV) Strahlung oder die weiche Röntgenstrahlung im Bereich von ca. 1 nm bis 20 nm Wellenlänge sind insbesondere die EUV-Lithographie. Aus der WO 99/29125 ist ein Verfahren mit den eingangs angesprochenen Merkmalen bekannt. Die bei diesem Verfahren eingesetzte Vorrichtung besteht aus einer Anode mit einer zentralen Bohrungsausnehmung und einer dieser gegenüberliegenden hohlen Kathode. Die Vorrichtung arbeitet in einer Umgebung konstanten Gasdrucks. Für die Erzeugung von EUV-Strahlung werden Gase mit Elementen der Atomnummer $Z > 3$ bevorzugt, zum Beispiel Xe mit breitbandiger Emissionscharakteristik. Wenn Hochspannung angewendet wird, gibt es einen Gasdurchbruch, der von dem Druck und dem Elektrodenabstand abhängt. Der Druck des Gases und der Elektrodenabstand sind so gewählt, daß das System auf dem linken Zweig der Paschen-Kurve arbeitet und infolgedessen kein dielektrischer Durchbruch zwischen den Elektroden auftritt. Nur in der Nachbarschaft der Hohlkathode sind die Feldlinien genügend gestreckt, so daß der Durchbruchbedingung oberhalb einer bestimmten Spannung entsprochen wird. Dann bildet sich ein stromführender Plasmakanal axialsymmetrischer Form entsprechend der Elektrodenausnehmung zwischen den Elektroden aus. Der mit der Vorrichtung verbundene elektrische Kreis ist so ausgebildet, daß ein sehr hoher Entladungsstrom auftritt, wenn der stromleitende Kanal aufgebaut wird. Dieser Strom baut um den Strompfad ein magnetisches Feld auf. Die resultierende Lorentz-Kraft schnürt das Plasma ein. Es ist seit langem bekannt, daß dieser Einschnürungseffekt das Plasma auf sehr hohe Temperaturen erhitzen und Strahlung sehr kurzer Wellenlänge erzeugen kann. Für die Vorrichtung ist nachgewiesen, daß sie EUV-Licht (10 bis 20 nm) sehr wirkungsvoll erzeugen kann, hohe Wiederholfrequenzen erlaubt und einen moderaten Elektrodenverschleiß hat.

[0003] Das im kurzwelligen Bereich emittierende Plasma entsteht entlang einer Symmetrieachse im Bereich der Hohlkathode bis über die Ausnehmung der Anode hinaus, je nach den vorhandenen Bedingungen. Relevante Parameter für eine Geometrie des Plasmas sind bedingt durch die Formen der Elektroden, wie Parameter eines angelegten elektrischen Stromes, wie dessen Dauer, dessen Form und dessen Amplitude, sowie die Gasdruckverhältnisse und die Zusammensetzung des Gases der Gasfüllung im Entladungsgefäß bzw. im Bereich der Elektroden.

[0004] Das bekannte Verfahren führt zu einem Pinch, also zu einem Plasmakanal, dessen Strahlung aus dem Elektroden-system jedoch besser auskoppelbar sein sollte und der auch kürzer sein sollte.

[0005] Demzufolge liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren mit den eingangs genannten Merkmalen so zu verbessern, daß die Auskoppelbarkeit der Strahlung aus den Elektroden verbessert wird, und daß sich eine optimierte Plasmageometrie ergibt, nämlich ein axial kürzeres Emissionsgebiet.

[0006] Die vorstehende Aufgabe wird durch die Merkmale des Kennzeichenteils des Anspruchs 1 gelöst.

[0007] Für die Erfindung ist von Bedeutung, daß ein Druckgradient der Gasfüllung dazu benutzt wird, um den Pinch bzw. das Plasma zu verlagern und/oder zu verformen. Diese Maßnahmen führen zu einer Verbesserung der Auskoppelbarkeit der Strahlung aus den Elektroden, zum Bei-

spiel in einen Kollektor einer EUV-Lithographie-Station. Die Verlagerung des Plasmas kann so durchgeführt werden, daß es optisch gut zugänglich ist, also möglichst wenig Abschattung erfolgt, auch nicht bei Betrachtung aus großen Beobachtungswinkeln, bezogen auf die Symmetrieachse. Auch kann eine optimale Anpassung des Lichtleitwerts der Strahlungsquelle, also des Plasmas, an das optische System erreicht werden. Der Lichtleitwert wird bestimmt durch das Produkt aus der effektiven Fläche des Plasmas und dem Öffnungswinkel. Grundsätzlich ist ein möglichst geringer Lichtleitwert anzustreben, also eine Punktquelle, so daß eine Nutzung eines möglichst großen Anteils des in einen Halbraum abgestrahlten Lichts gewährleistet ist. Bei der hier vorliegenden Quellgeometrie einer Elektrodenentladung reduziert sich das Problem im wesentlichen auf ein axial möglichst kurzes emittierendes Plasma, für das möglichst keine Strahlungsabschattungsverluste auftreten sollen.

[0008] Das Verfahren kann am Beispiel einer Anpassung der EUV-Lichtquelle an eine Optik einer EUV-Lithographie-Station näher beschrieben werden: Die EUV-Lichtquelle kann in einer Halbleiter-Lithographie-Einrichtung der nächsten Generation angewendet werden, für die eine Lichtquelle mit einer Hauptwellenlänge von etwa 13,5 nm erforderlich ist. Außer der Anforderung an die Wellenlängen gibt es jedoch strenge Anforderungen an das Lichtquellenformat des lichtemittierenden Bereichs und an die Gesamtleistung, die die Quelle zur Verfügung stellen muß. In beiden Hinsichten ist das bekannte Verfahren in seiner Leistung beschränkt. Zum einen, weil die Geometrie der Elektroden nur einen begrenzten Zugang zu dem lichtemittierenden Bereich erlaubt und der Rest des Lichts an die umgebenden Wände verschwendet wird. Zum Zweiten bildet eine axialsymmetrische Geometrie immer ein gestrecktes Plasma, das nicht wirkungsvoll konzentriert werden kann. Typische Längen sind zur Zeit 3 bis 10 mm, während die Sammeloptik lediglich Lichtquellenformate von etwa 2 mm und darunter verarbeiten kann.

[0009] Das Verfahren kann dahingehend modifiziert werden, daß eine der Elektroden als Hohlkathode ausgebildet wird, in der und/oder vor der in Bezug auf deren Umgebung ein Überdruck der Gasfüllung ausgebildet wird. Mit einer Hohlkathode kann Einfluß auf die Ausbildung des elektrischen Feldes genommen werden, das sich im Bereich der Elektrodenausnehmungen zwischen den Elektroden ausbildet. Mit dem Bohrlochbereich der Hohlkathode können die Feldlinien hinreichend gestreckt ausgebildet werden, um für eine vorbestimmte Spannung den Durchbruchbedingungen zu genügen, so daß das System im Bereich des linken Zweigs der Paschen-Kurve arbeitet. Da die sich ausbildende elektrische Entladung außer von dem Elektrodenabstand und der Form der Elektroden auch vom Gasdruck der Gasfüllung abhängt, ist es vorteilhaft, vor der Elektrode im Bezug auf deren Umgebung einen Überdruck der Gasfüllung auszubilden. Der Überdruck hat zur Folge, daß sich die langen Feldlinien in Bereiche geringeren Gasdrucks erstrecken, so daß sich höhere Feldstärken für den elektrischen Durchbruch ergeben. Infolgedessen wird das sich im Falle eines Durchbruchs ausbildende Plasma als Folge des Druckgradienten verlagert. Die Verlagerung kann dabei in einen Bereich einer verbesserten Zugänglichkeit mit verringerter Abschattung erfolgen.

[0010] Es ist zu bevorzugen, wenn das Gas der Gasfüllung über die Hohlkathode eingelassen wird, von deren Elektrodenausnehmung ausgehend ein Druckgefälle aufgebaut wird. Ausgangspunkt des Druckgefälles und damit des angestrebten Druckgradienten ist infolgedessen der der Anode benachbarte Bereich der Elektrodenausnehmung der Hohlkathode. Entsprechend erfolgt eine Verlagerung des Plasmas

von der Elektrodenausnehmung der Hohlkathode weg.

[0011] Eine weitere Verbesserung insbesondere der vorbeschriebenen Ausführungsform läßt sich dadurch erreichen, daß eine Düse verwendet wird, mit der Gas der Gasfüllung mit hoher Geschwindigkeit unter Verlagerung des Plasmas in das Entladungsgefäß geblasen wird. Bei dieser Ausführung ergibt sich ein zusätzlicher Steuerungsparameter, der die Formung der Isobarlinien vor der Elektrodenausnehmung der Kathode zu steuern erlaubt. Insbesondere ist es möglich, den Pinchbereich des Plasmas noch weiter auswärts zu verlagern, was Vorteile für die Kühlung der Einrichtung hat, mit der das Verfahren durchgeführt wird, insbesondere im Bereich der Elektroden.

[0012] Das Verfahren kann dahingehend verbessert werden, daß außer dem das Plasma ausbildenden Gas ein prozeßbeeinflussendes Füllgas in das Entladungsgefäß eingebracht wird. Mit dem Füllgas kann nicht nur eine Gradientenbildung bezüglich der Gasfüllung des Entladungsgefäßes erreicht werden, sondern es sind auch weitere Prozeßeinwirkungen möglich. Beispielsweise kann die Reabsorption von EUV-Strahlung durch das für die Gasentladung benutzte Primärgas minimiert werden. Dieses Problem ist besonders schwerwiegend, wenn Xenon als Entladungsgas benutzt wird, weil Xenon EUV-Strahlung stark reabsorbiert. Ein weiterer Vorteil kann sein, daß das Füllgas benutzt wird, die Entladung schneller zu löschen, als das Entladungsgas, um damit höhere Wiederholungsraten zu erreichen.

[0013] Besonders vorteilhafterweise wird so verfahren, daß das Füllgas rohrförmig um das das Plasma ausbildende Gas herum in das Entladungsgefäß hineinströmt. Mit Hilfe des Füllgases kann auf diese Weise eine sehr wirkungsvolle umfassende Formung des Entladungsgases erreicht werden.

[0014] Die Erfindung bezieht sich auch auf eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 7. Die Vorrichtung unterliegt den oben bezüglich des Verfahrens beschriebenen Nachteilen, so daß sich für die Vorrichtung eine der oben beschriebenen Aufgabe entsprechende Aufgabe ergibt. Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Kennzeichens des Anspruchs 1 gelöst.

[0015] Die Ausbildung eines höheren Gasdrucks nahe einer als Kathode ausgebildeten Elektrode in Bezug auf einen von dieser Elektrode entfernten Bereich führt zu einem entsprechenden Druckgradienten und insbesondere zu einem Druckgefälle. Eine Folge dieses Druckgefälles ist eine Verlagerung des sich ausbildenden Plasmas im Sinne einer guten Zugänglichkeit bzw. einer verringerten optischen Abschattung bezüglich einer das Licht verarbeitenden Optik.

[0016] In Ausgestaltung der vorbeschriebenen Vorrichtung ist es zweckmäßig, diese so auszubilden, daß die Kathode als Hohlkathode ausgebildet ist, durch die das Gas der Gasfüllung in das Entladungsgefäß einbracht ist. Bei der Hohlkathode sind die oben beschriebenen gestreckten Feldlinien vorhanden, deren Ausbildung eine Voraussetzung ist, um zu annehmbaren Bedingungen für den linken Zweig der Paschen-Kurve kommen zu können. Zugleich wird durch die Hohlkathode das Gas der Gasfüllung in das Entladungsgefäß eingespeist, also das Entladungs- bzw. Primärgas. Hierdurch ergibt sich eine einfache konstruktive Ausgestaltung, da in diesem Fall des Einsatzes des Hohlraums der Hohlkathode zum Zwecke der Gaszuleitung eine besondere Ausbildung von einer Gaszuleitung dienenden Räumlichkeiten entfällt.

[0017] Die Düse kann in unterschiedlicher Weise eingesetzt werden. Vorteilhaft ist es, die Vorrichtung so auszubilden, daß die Elektrodenausnehmung und/oder die Mittelbohrung als Düse ausgebildet sind und/oder daß mit der Düse ein zur Hohlkathode gerichteter Gasfluß erzeugbar ist. Die vorbeschriebenen Ausgestaltungen können insbeson-

dere auch in Kombination miteinander eingesetzt werden.

[0018] Eine weitere Spezifizierung der Vorrichtung kann dahingehend erfolgen, daß die Elektrodenausnehmung der Kathode eine die Einspeisegeschwindigkeit des das Plasma ausbildenden Gases und/oder die Gasverteilung beeinflussende Düse aufweist. Die Düse kann so ausgebildet werden, daß eine erhebliche Verlagerung des Plasmas in einen Bereich guter optischer Zugänglichkeit ermöglicht wird.

[0019] Des weiteren kann es von Vorteil sein, wenn die Kathode von der als Anode wirkenden Elektrode unter Bildung eines Ringraums mit Abstand umgeben ist, und daß die Elektrodenausnehmung der Anode konisch öffnend ausgebildet ist. In diesem Fall wird eine konzentrische Elektrodenanordnung ermöglicht, die sich durch eine besondere Freizügigkeit bezüglich der Zugänglichkeit des Raums auszeichnet, in die das Plasma verlagert wird. Die optische Zugänglichkeit kann weiter verbessert werden, wozu insbesondere die konische Öffnung der Elektrodenausnehmung der Anode beiträgt. Auch bei in Bezug auf die gemeinsame Elektrodenachse größeren Betrachtungswinkeln ergibt sich eine geringe Abschattung und im Falle eines kurzen Plasmas erscheint dieses auch bei größeren Betrachtungswinkeln eher dem Ideal einer Punktquelle angenähert.

[0020] Die Vorrichtung kann so ausgebildet werden, daß mittels des zwischen der Kathode und der Anode vorhandenen Ringraums ein Füllgas in das Entladungsgefäß einleitbar ist. Das Füllgas kann die Druckausbildung des Entladungsgases beeinflussen und mithin zu einer Verlagerung und einer Formung des Plasmas beitragen. Der zwischen der Kathode und der Anode vorhandene Ringraum führt zu einer entsprechend symmetrischen Ausbildung des mit Füllgas beschickten Bereichs des Entladungsgefäßes. Im Falle einer Rotationssymmetrie der Elektroden ist dieser Füllgasbereich entsprechend rotationssymmetrisch.

[0021] Wenn das Füllgas ein Extrem-UV-Strahlung reabsorbierendes Gas und/oder ein Plasma löschendes Gas ist, kann entsprechender Einfluß auf die Reabsorption von Extrem-UV-Strahlung und/oder auf die Wiederholfrequenzen genommen werden. Bei Pulsbetrieb ist mithin ein schnellerer Ablauf sich wiederholender Entladungsvorgänge möglich, was zu einer verbesserten Lichtausbeute führt.

[0022] Eine Minimierung des Verbrauchs von Entladungsgas ergibt sich, wenn die Vorrichtung so ausgebildet ist, daß das Entladungsgefäß außen im Bereich der Elektroden hauptsächlich mit Füllgas gefüllt ist.

[0023] Weiterhin kann es vorteilhaft sein, die Vorrichtung so auszubilden, daß das Aspektverhältnis von Durchmesser zu Tiefe der Ausnehmung der Kathode kleiner als eins ist. Hierdurch wird nicht nur der Gasverbrauch minimiert und die Gasströmung ausgerichtet, so daß sich eine entsprechend große Verlagerung des Plasmas in Strömungsrichtung des Entladungsgases ergibt, sondern es wird auch dazu beigetragen, daß ein Stromtransport über die Wand der Ausnehmung der Kathode und die Wand der Hohlkathode und damit eine Schwächung des Plasmas möglichst unterdrückt wird.

[0024] Die Erfindung wird anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigt:

[0025] **Fig. 1** ein Diagramm der Abhängigkeit der Zündspannung von dem Produkt aus Gasdruck und Elektrodenabstand,

[0026] **Fig. 2** in schematischer Darstellung eine erste Elektrodenanordnung, und

[0027] **Fig. 3** in schematischer Darstellung die Elektrodenanordnung der **Fig. 2** in abweichender Betriebsweise.

[0028] **Fig. 1** veranschaulicht das Paschens Gesetz, nämlich eine Abhängigkeit der für Gasentladungen maßgeb-

lichen Zündspannung U_0 vom Produkt aus dem Gasdruck p und dem Elektrodenabstand d . Dabei ist U_0 diejenige Spannung, bei der eine selbständige Gasentladung in einer zwischen zwei Elektroden ausgebildeten Gasentladungsstrecke auftritt. Die Gesetzmäßigkeit gilt für eine bestimmte Elektrodengeometrie und ein bestimmtes Gas. **Fig. 1** stellt klar, daß das strahlungserzeugende Verfahren entsprechend dem linken Ast der Paschen-Kurve durchgeführt werden soll, also mit einer Gasentladung, bei der die Erzeugung des Plasmas mehrstufig über Sekundärionisationsprozesse im Selbstdurchbruch erfolgt und die Plasmaverteilung bereits in der Startphase in hohem Maße zylindersymmetrisch ist. In das Plasma kann Energie eingekoppelt werden, nämlich mittels eines gepulsten Stromes, der von einer Stromquelle zur Verfügung gestellt werden muß. Durch geeignete Wahl der Amplitude und der Periodendauer der Strompulse kann die für die Lichtemission geeignete Temperatur des Plasmas eingestellt werden. Es kommt zu Periodendauern im zweibis dreistelligen Nanosekundenbereich. Während eines Pulses wird das Plasma infolge der sich aufbauenden Lorentzkraft eingeschnürt und es kommt zu einem sogenannten Pinch.

[0029] Die **Fig. 2, 3** zeigen Pinchanordnungen schematisch dargestellter Elektroden. Die Elektroden sind im Bezug auf eine Symmetrieachse **17** rotationssymmetrisch ausgebildet. Die Anordnung der Elektroden ist konzentrisch. Die Symmetrieachse **17** ist zugleich Mittelachse einer als Hohlkathode **14** ausgebildeten Elektrode. Die Hohlkathode **14** hat eine Mittelbohrung **18** mit einer Elektrodenausnehmung **13** in einem Mündungsbereich **19** der Mittelbohrung **18**, wobei dieser Mündungsbereich **19** Bestandteil einer Elektrodenausnehmung **20** einer weiteren, als Anode **15** ausgebildeten Elektrode ist. Die Anode **15** ist ebenfalls rotationssymmetrisch und umgibt die Hohlkathode **14** mit einem Ringraum **16**. Beide Elektroden sind in einem Entladungsgefäß **11** untergebracht, das mit Entladungsgas gefüllt ist, dessen Druck geringer ist, als der Atmosphärendruck. **[0030]** Eine Besonderheit der Elektrodenausnehmung ist die Gestalt der Hohlkathode **14**, die einen den Durchmesser der Mittelbohrung **18** erheblich erweiternden Hohlraum **20** in der Nähe der Elektrodenausnehmung **13** aufweist. Dadurch wird eine spezielle Ausbildung von Feldlinien **21** erreicht, von denen sich beispielsweise Feldlinien **21'** bis in den Hohlraum **20** erstrecken und damit ein Feld aufbauen, das in guter Näherung parallel zur Symmetrieachse **17** verläuft. Wird die Spannung genügend gesteigert, so kommt es bei einem Erreichen der Zündspannung U_0 entweder zum Selbstdurchbruch, der zur Ausbildung eines Plasmas führt, oder es wird kurz vorher eine getriggerte Gasentladung erzeugt. Die Gasentladung bildet sich in der Nähe der Hohlkathode **14** vor deren Stirnwand **14'** bzw. vor der Elektrodenausnehmung **13** aus, da hier die Konzentration des elektrischen Feldes am größten ist und die Feldstärke zur Anode **15** hin abnimmt, da sie eine sich konisch öffnende Elektrodenausnehmung **12** aufweist, bei der also die Ausnehmungswand **12'** mit der Symmetrieachse **17** einen spitzen Winkel bis hin zu 90° Winkelgrad bildet. Die konische Ausnehmungswand **12'** der Elektrodenausnehmung **12** ist dabei derart in Bezug auf die Hohlkathode **14** angeordnet, daß der kleinste Ausnehmungsdurchmesser der Anode **15**, der gleich dem Außendurchmesser des zwischen den Elektroden vorhandenen Ringraums **16** ist, auf Höhe der Stirnwand **14'** der Hohlkathode **14** angeordnet ist.

[0031] Die Mittelbohrung **18** ist als Gaseinlass **22** ausgebildet. Über den Gaseinlass **22** wird Entladungsgas durch die Mittelbohrung **18** in den Hohlraum **20** eingelassen und kann von dort aus durch die Elektrodenausnehmung **13** der An-

ode strömen bzw. in das Entladungsgefäß, in dem ein Unterdruck aufrechterhalten wird. Der Druck des Entladungsgases kann bereits innerhalb der Hohlkathode **14** sinken. Jedenfalls aber von der Elektrodenausnehmung **13** an kann ein Druckgefälle aufgebaut werden. Die **Fig. 2** zeigt Isobaren **23** abnehmenden Drucks. Infolge der sich daraus ergebenden Druckgradienten der Gasfüllung wird das Plasma **10** in Richtung von der Kathode weg verlagert. Die Verlagerung erfolgt infolge der symmetrischen Ausbildung des elektrischen Feldes und der Gasdruckverteilung in Richtung der Symmetrieachse **17**.

[0032] Das Ausmaß der Verlagerung des Plasmas **10** ist abhängig von den Abmessungen der Elektrodenausnehmung **13** und von der Strömungsgeschwindigkeit des Gases. Beispielsweise kann die Elektrodenausnehmung **13** als Düse ausgebildet sein, mit der Gas der Gasfüllung mit hoher Geschwindigkeit in das Entladungsgefäß **11** geblasen wird. Die Anordnung des Plasmas **10** in der Elektrodenausnehmung **12** kann in großem Ausmaß dadurch verändert werden, daß die geeigneten elektrischen und aerodynamischen Bedingungen gewählt werden. Insbesondere kann bei der beschriebenen Ausbildung der Anoden erreicht werden, daß das Plasma **10** nicht mehr eine zylindrische Geometrie hat, sondern entsprechend der Darstellung auf ein geringeres, mehr eiförmiges Volumen konzentriert ist. Zugleich mit der Verlagerung erfolgt also auch eine in optischer Hinsicht vorteilhafte Verformung des Plasmas **10**.

[0033] Die vorstehenden Ausführungen gelten auch für die Ausführungsform der **Fig. 3**. Hier ist die Besonderheit dargestellt, daß der zwischen den Elektroden vorhandene Ringraum **16** als Gaseinlaß **24** genutzt wird. Es wird beispielsweise ein Füllgas **25** benutzt, das infolge der ringförmigen bzw. rohrförmigen Ausbildung des Ringraums **16** entsprechend rohrförmig um das das Plasma **10** ausbildende Gas herum in das Entladungsgefäß **11** strömt. Dieses Füllgas **25** hat eine formgebende Einwirkung auf das das Plasma ausbildende Gas. **Fig. 3** zeigt im Vergleich zu **Fig. 2** die einengende Wirkung von strichpunktiert dargestelltem Füllgas **25** auf das das Plasma erzeugende Gas und damit auf dessen Isobaren **23**. Auch mit Hilfe des Füllgases kann also im plasmazerzeugenden Gas für Druckänderungen gesorgt werden, die wiederum zu Verlagerungen und/oder Verformungen des Plasmas **10** führen.

[0034] In **Fig. 3** ist eine Düse **26** dargestellt, mit der Gaseinlaß eines Entladungsgases an der Vorderseite der Elektroden realisiert ist. Die Austrittsgeschwindigkeit des Gases muß hoch genug sein, um einen gemäß dem Pfeil **27** zur Hohlkathode **14** gerichteten Gasfluß zu erzeugen. Mit diesem wird vor der Stirnwand **14'** der Hohlkathode **14** ein höherer Druck erzeugt, der zum Hintergrund entsprechend den Isobaren **23** abnehmenden Drucks stark abfällt.

[0035] Die vorbeschriebene Ausbildung der Elektroden zur Pinchformung über inhomogene Druckverhältnisse des im Entladungsgefäß **11** befindlichen Gases, insbesondere des vor der Stirnwand **14'** der Hohlkathode befindlichen Gases, kann durch vorbestimmte Bemessungen der Elektrodenausnehmung **13** ergänzt werden. Insbesondere ist es von Vorteil, die Elektrodenausnehmung **13** als Kathodenöffnung so auszubilden, daß das Aspektverhältnis von Durchmesser d zu Tiefe $b < 1$ ist. Das führt nicht nur zur Vergleichmäßigung der Strömung des Gases, wenn dieses durch die Elektrodenausnehmung **13** in das Entladungsgefäß **11** gespeist wird, sondern es läßt sich auch der Transport von für das Plasma bestimmten Ladungsträgern beeinflussen. Insbesondere wird der Stromtransport über die Elektrodenausnehmung **13** und über die den Hohlraum **20** bildende Wand der Hohlkathode **14** weitgehend unterdrückt. Auch das befördert die Ausbildung des Plasmas **10** in einen Bereich der

Elektrodenausnehmung **12**, in dem eine optisch gute Zugänglichkeit gegeben ist, also ohne Abschattung des Plasmas, auch bei größeren Beobachtungswinkeln zur Symmetrieachse **18**.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen von Extrem-Ultraviolettstrahlung/ weicher Röntgenstrahlung, mittels einer Gasentladung, insbesondere für die EUV-Lithographie, bei dem in einem Entladungsgefäß (**11**) zwei Elektroden an Hochspannung gelegt werden, zwischen denen in einem Bereich zweier gleichachsiger Elektrodenausnehmungen (**12, 13**) eine Gasfüllung mit vorbestimmtem Gasdruck entsprechend eines auf dem linken Zweig der Paschen-Kurve erfolgenden Entladungsbetriebs bereitgestellt wird, in der ein die Strahlung abgebendes Plasma (**10**) unter Energiezufuhr ausgebildet wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Plasma (**10**) im Bereich der Elektrodenausnehmungen (**12, 13**) mittels eines Druckgradienten der Gasfüllung verlagert und/oder verformt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine der Elektroden als Hohlkathode (**14**) ausgebildet wird, in der und/oder vor der in Bezug auf deren Umgebung ein Überdruck der Gasfüllung ausgebildet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Gas der Gasfüllung über die Hohlkathode (**14**) eingelassen wird, von deren Elektrodenausnehmung (**13**) ausgehend ein Druckgefälle aufgebaut wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine Düse (**26**) verwendet wird, mit der Gas der Gasfüllung mit hoher Geschwindigkeit unter Verlagerung des Plasmas (**10**) in das Entladungsgefäß (**11**) geblasen wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß außer dem das Plasma ausbildenden Gas ein prozeßbeeinflussendes Füllgas (**25**) in das Entladungsgefäß (**11**) eingebracht wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Füllgas (**25**) rohrförmig um das das Plasma (**10**) ausbildende Gas herum in das Entladungsgefäß (**11**) hineinströmt.
7. Vorrichtung zum Erzeugen von Extrem-Ultraviolettstrahlung/Röntgenstrahlung mittels einer Gasentladung, insbesondere für die EUV-Lithographie, mit zwei in einem Entladungsgefäß (**11**) an Hochspannung gelegten Elektroden, die in einem Bereich zweier gleichachsiger Elektrodenausnehmungen (**12, 13**) eine Gasfüllung vorbestimmten Gasdrucks entsprechend eines auf dem linken Zweig der Paschen-Kurve erfolgenden Entladungsbetriebs aufweisen, in der ein die Strahlung abgebendes Plasma (**10**) unter Energiezufuhr ausgebildet ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasdruck der Gasfüllung nahe einer als Kathode ausgebildeten Elektrode höher ist, als in einem davon entfernten Bereich des Entladungsgefäßes (**11**).
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Kathode als Hohlkathode (**14**) ausgebildet ist, durch die das Gas der Gasfüllung in das Entladungsgefäß (**11**) eingespeist ist.
9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenausnehmung (**13**) der Kathode eine die Einspeisegeschwindigkeit des das Plasma (**10**) ausbildenden Gases erhöhende und/oder die Gasverteilung beeinflussende Düse aufweist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch ge-

kennzeichnet, daß die Elektrodenausnehmung (**13**) und/oder die Mittelbohrung (**18**) als Düse ausgebildet sind und/oder daß mit der Düse (**26**) ein zur Hohlkathode (**14**) gerichteter Gasfluß erzeugbar ist.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Kathode von der als Anode (**15**) wirkenden Elektrode unter Bildung eines Ringraums (**16**) mit Abstand umgeben ist, und daß die Elektrodenausnehmung (**12**) der Anode (**15**) konisch öffnend ausgebildet ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß mittels des zwischen der Kathode und der Anode (**15**) vorhandenen Ringraums (**16**) ein Füllgas (**25**) in das Entladungsgefäß (**11**) einleitbar ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Füllgas (**25**) ein Extrem-Ultraviolettstrahlung reabsorbierendes Gas und/oder ein Plasma (**10**) löschendes Gas ist.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Entladungsgefäß außen im Bereich der Elektroden hauptsächlich mit Füllgas (**25**) gefüllt ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Aspektverhältnis von Durchmesser (d) zu Tiefe (b) der Ausnehmung (**13**) der Kathode kleiner als eins ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

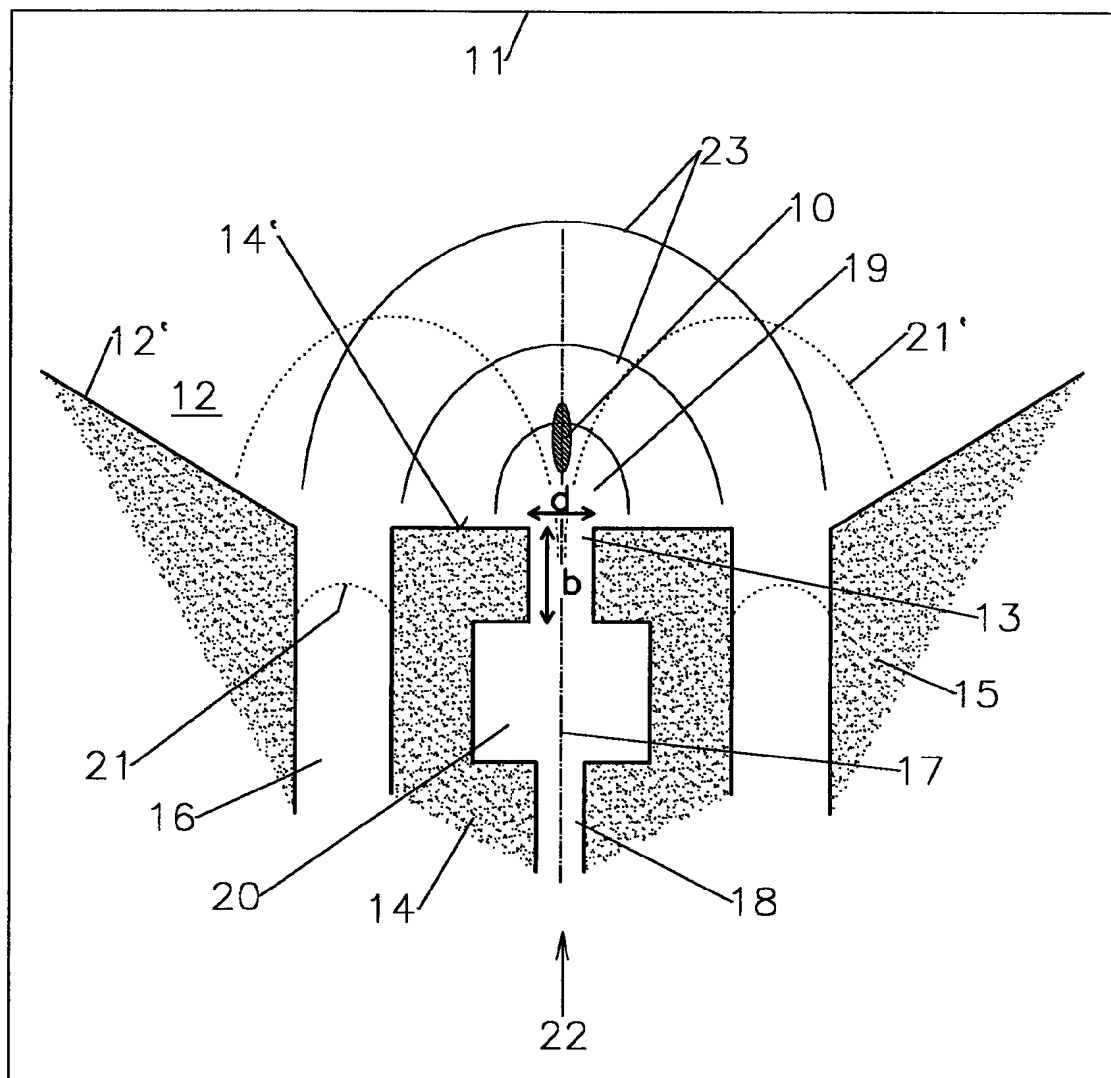


Fig.2

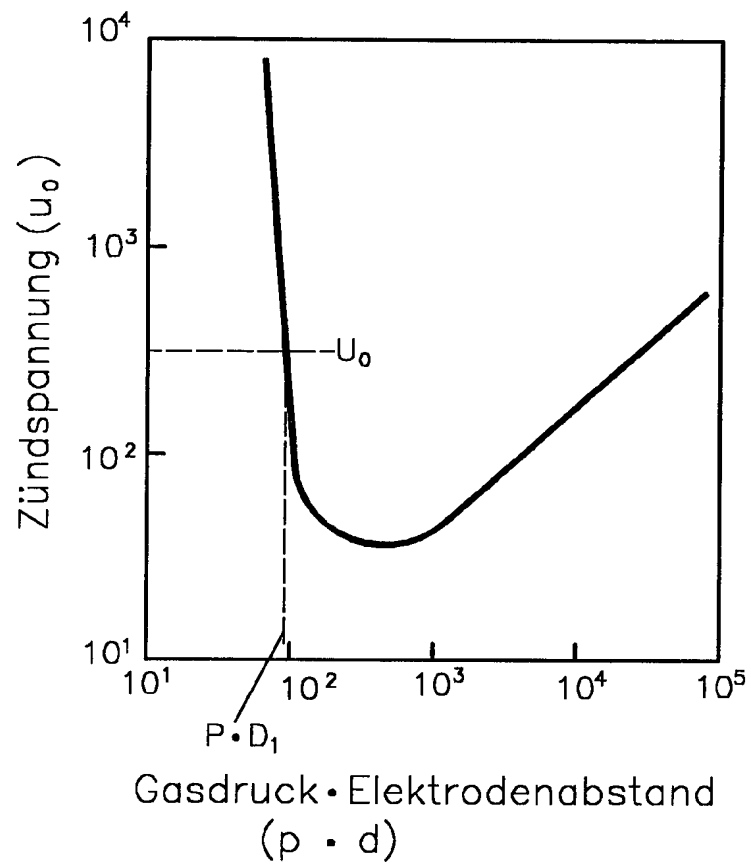


Fig.1

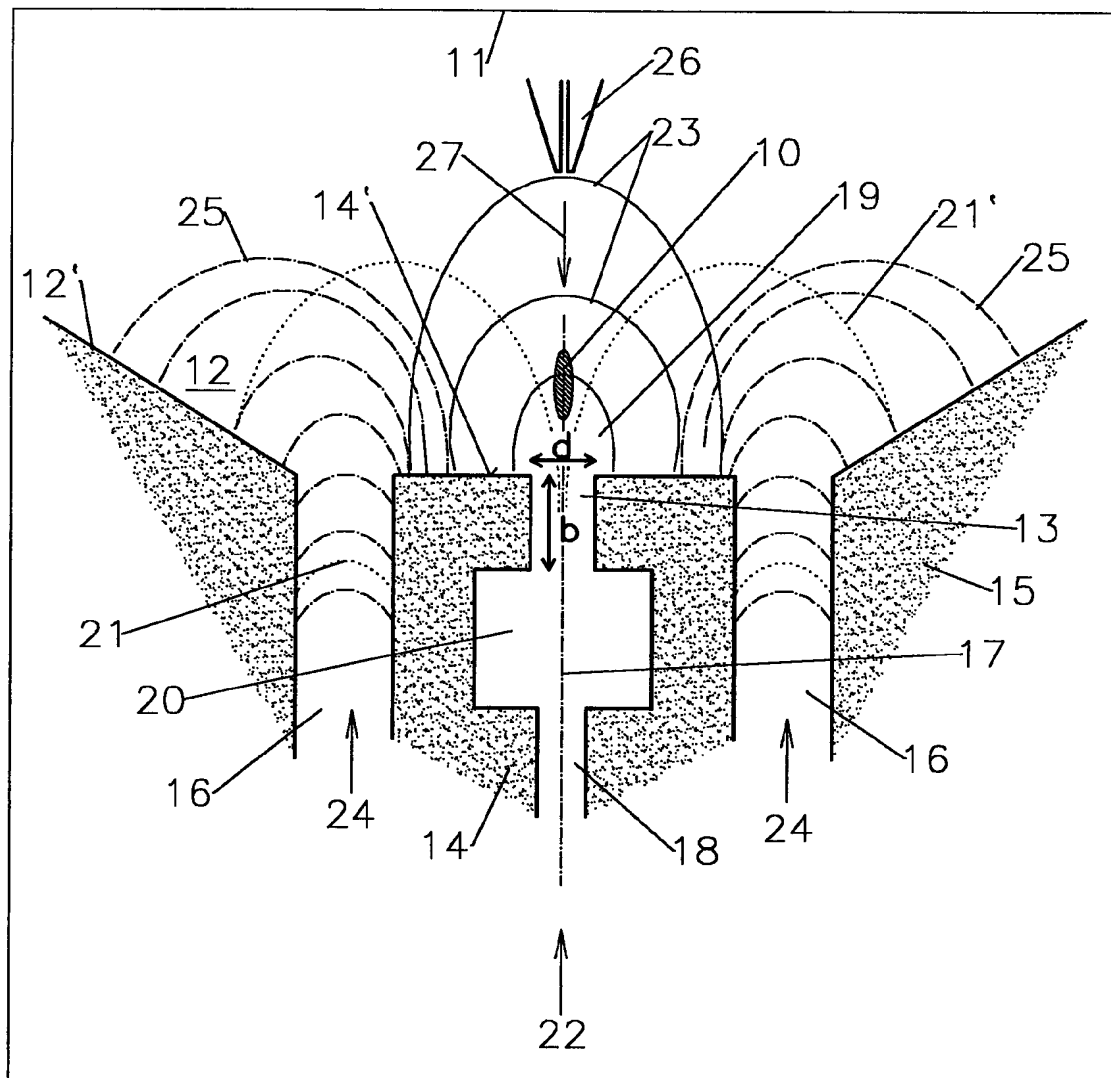


Fig.3